第 37 卷第 7 期
2017 年 4 月

生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37，No.7
Apr.，2017

DOI：10.5846/stxb201512032424
晏婷婷，冉江洪，赵晨皓，钟雪，梁敏仪.气候变化对邛崃山系大熊猫主食竹和栖息地分布的影响.生态学报，2017，37(7)：2360-2367.
Yan T T，Ran J H，Zhao C H，Zhong X，Liang M Y.Climate-change impacts on bamboo distribution and giant panda habitat in Qionglai mountains.Acta Ecologica Sinica，2017，37(7)：2360-2367.

气候变化对邛崃山系大熊猫主食竹和栖息地分布的影响

晏婷婷，冉江洪*，赵晨皓，钟　雪，梁敏仪
四川大学生命科学学院生物资源与生态环境教育部重点实验室，成都　610064

摘要：气候变化对生物多样性的影响，特别是珍稀濒危物种的影响是当前的研究热点。全球气候变化对大熊猫的影响一直受到广泛关注。根据野外调查的大熊猫活动痕迹点、竹类分布点和主食竹扩散距离数据，采用 Maxent 模型，利用植被、地形、气候等因素，在 RCP8.5 下分析了 2050 年和 2070 年邛崃山系大熊猫主食竹分布及栖息地变化趋势。结果显示：(1)未来大熊猫适宜生境及主食竹气候适宜区面积均有所减少，到 2070 年分别减少 37.2%和 4.7%；(2)未来主食竹分布范围总体向高海拔扩展，但面积持续减少，到 2070 年分布面积比当前减少 8.3%；(3)大熊猫栖息地未来有向高海拔扩张的趋势，在低海拔地区退缩明显，到 2070 年较当前减少 27.2%；但到 2070 年大熊猫栖息地面积加上非栖息地有主食竹分布的面积，较现有大熊猫栖息地面积大 1.5%；(4)受气候变化影响较严重的区域是邛崃山系南部以及低海拔地区，其余区域所受影响相对较小；(5)未来需要加强对受气候变化影响严重区域的监测与保护，特别是邛崃山系中部的大熊猫集中分布区。

关键词：气候变化；大熊猫；邛崃山系；竹子；保护

Climate-change impacts on bamboo distribution and giant panda habitat in Qionglai mountains

YAN Tingting，RAN Jianghong*，ZHAO Chenhao，ZHONG Xue，LIANG Minyi
Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-environment of Ministry Education，College of Life Science，Sichuan University. Chengdu 610064，*China*

Abstract：The effects of climate change on biodiversity are at the forefront of contemporary scientific research，especially regarding rare and endangered species. As an old，highly specialized and extremely rare species，the effect of global climate change on the giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) has received much attention. Due to climate change，giant panda habitats are generally becoming warmer and drier，reducing the total suitable area thereby giant pandas are migrating to higher latitudes and altitudes. Climate change not only directly affect species distribution，but also indirectly alters the size and distribution of herbivore populations by influencing the growth of staple food plants. Bamboo comprises > 99% of the giant panda's diet. This strong dependence couples the distribution of the giant panda with that of bamboo growth. Based on current locality and distributional data of giant pandas and bamboo species，respectively，from field surveys，we predicted distributional shifts of bamboo and giant panda habitats for the years 2050 and 2070 using a Maxent model with topography factors (altitude，slope and aspect)，climate change data，river，road，resident community and land cover. We obtained current and future climate projections (for the years 2050 and 2070) from the WorldClim database at 30′ resolution. The model was constrained by the conditions outlined in the representative concentration pathway 8.5 of the IPCC AR5. We assessed the accuracy of predictions of the area under the ROC curve (AUC)，establishing the acceptable predictions of

基金项目：四川省环境保护科技计划资助项目
收稿日期：2015-12-03；　**网络出版日期**：2016-08-30
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail：rjhong-01@163.com

Maxent. The results show that the climatically suitable areas of bamboo and habitat for giant pandas might decrease by 4.7% and 37.2% in 2070, respectively. The northern and lower elevation limits of current suitable habitat for giant pandas would decrease, whereas suitable habitat would primarily expand to higher elevations. Lower elevations of climatically suitable areas of bamboo would also decrease; however the distribution of bamboo would primarily expand to higher elevations. Therefore the area of giant panda habitat will decrease by 27.2% and giant pandas would move to higher altitudes. Although bamboo will spread to higher elevations, and the total proportion of bamboo distribution will decrease by 8.3% in 2070, there will be sufficient food resources for nearly all giant pandas in this region. This suggests that climate change has limited impacts on giant pandas in the Qionglai Mountains. The southern area of the Qionglai Mountains and low-altitude regions are more sensitive to climate change, which may require additional management, research, and conservation in the future. The main habitats of giant panda (Wenchuan, Baoxing, Lushan, Dayi, Chongzhou and Tianquan counties) will also required additional focus in future studies.

Key Words: climate change; giant panda; qionglai mountains; bamboo; conservation

大量陆地和海洋观测证据表明,地球上许多自然系统正在受到区域气候变化的影响,特别是温度升高的影响,气候变暖可能会对全球生态系统和生物多样性造成极大的影响[1]。大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)是全球珍稀濒危野生动物,是生物多样性保护的旗舰物种[2-3]。在全球气候变暖的大背景下,大熊猫栖息地气候总体向干暖趋近[4],有研究预测气候变化将导致岷山山系67%的大熊猫栖息地向高海拔、高纬度迁移[5]。并且适宜生境面积减小[6-7]。秦岭山系2080年大熊猫适宜生境可能丧失60%,在现有的大熊猫保护区内仅有15%适合大熊猫栖息,且破碎化严重[8-9],大熊猫适宜生境的最低海拔将上升500m[9]。然而作为大熊猫栖息地破碎化较严重的邛崃山系,气候变化对大熊猫栖息地和主食竹的研究仍是空白。

气候变化不仅可以直接影响物种的分布,也可以通过影响植物的生长和分布,进而影响植食性动物种群的大小与分布情况[10]。大熊猫食性单一,亚高山竹类占据其食物组成的99%以上[11]。在气候变化背景下,秦岭大熊猫栖息地内的3种主食竹分布面积将大幅度减少,到21世纪末,如果竹种不能扩散到现有分布以外的新气候适宜区域,秦岭地区几乎所有的大熊猫栖息地都可能会消失[12]。大熊猫对主食竹的强烈依赖性,使得其分布受到主食竹的分布和生活状态的影响[13-15]。

从大熊猫现有的分布海拔以及历史分布来看,大熊猫对气候变化应有一定的适应能力。但竹子极易受气候变化的影响,因此气候变化对大熊猫产生影响主要是通过影响竹子的分布,其次才是气候变暖本身对大熊猫产生的影响。因而预测气候变化对大熊猫影响,竹种实际分布数据以及其扩散能力是极为关键的。而已有的针对气候变化对大熊猫栖息地的研究,主要是利用气候因子和大熊猫野外痕迹分布点进行预测[4,6-9],也有利用气候因子和竹种分布点进行预测[12],少有综合利用气候、竹种分布(包括扩散能力)及大熊猫痕迹点的预测研究[5],并且对主食竹分布和扩散能力的关注还较少。本文利用最新完成的四川省第四次大熊猫野外调查的大熊猫活动痕迹点、竹类分布点数据,以及2014—2015测量的各竹种生长扩散数据;同时结合第三次大熊猫野外调查数据,采用Maxent模型,综合利用植被、气候、地形等因子,分析在RCP8.5条件下,2050年和2070年邛崃山系大熊猫适宜栖息地和主食竹分布变化,综合考虑大熊猫适宜栖息地以及主食竹分布变化对大熊猫栖息地的影响及变化趋势,以期更好的了解气候变化可能对大熊猫带来的影响,为区域大熊猫及其生物多样性保护提供参考。

1　研究区域概况

研究区域包括邛崃山系和大相岭山系现今大熊猫的主要分布区(大相岭山系与邛崃山山系大熊猫栖息地之间无天然障碍,植被相连,故作为整体分析),行政区划涉及四川省的成都、阿坝、雅安、眉山、乐山、甘孜6个市(州)的小金、理县、汶川、崇州、大邑、芦山、宝兴、天全、荥经、洪雅、峨眉山以及康定(部分地区)和泸定

(部分地区)13个县,介于东经102°1′45.9″—103°49′10.4″,北纬29°16′35.3″—31°55′6″之间(图1)。本区域有卧龙、四姑娘山、蜂桶寨等国家级自然保护区,区域最高海拔6250m,大熊猫栖息地世界遗产地也位于本区域。据四川省第四次大熊猫调查结果显示:该区域有野生大熊猫558只,占四川省野生大熊猫种群数量的40.2%,占全国的29.9%[16]。

研究区内竹类资源丰富,分布的主食竹种有6属19种,其中分布范围最广的是冷箭竹(*Bashania faberi*)、短锥玉山竹(*Yushania brevipaniculata*)、拐棍竹(*Fargesia robusta*)和八月竹(*Chimonobambusa szechuanensis*)4种,共占研究区域大熊猫栖息地所有竹种分布面积的90%以上[16]。

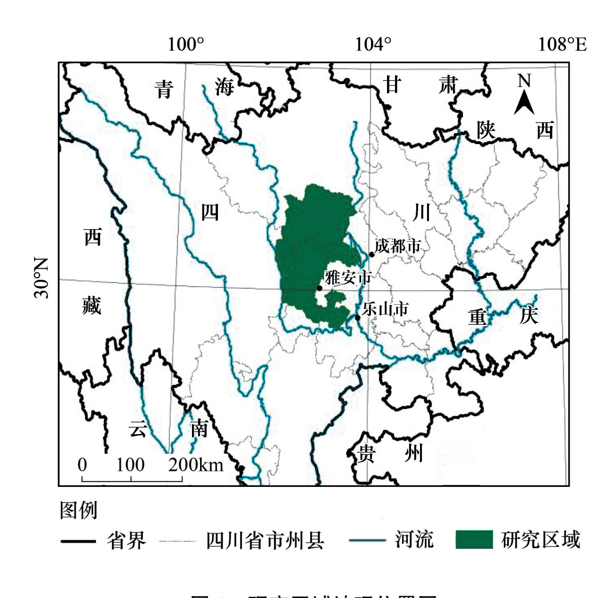


图1　研究区域地理位置图

Fig.1　Location of the study area

2　方法

2.1　数据来源

2.1.1　大熊猫痕迹点和竹种分布点数据

大熊猫痕迹点数据和主食竹分布数据来源于四川省第三、第四次大熊猫调查在野外采集的GPS位点和海拔数据,共有大熊猫痕迹点数据1092个,大熊猫主食竹分布点数据8561个。

2.1.2　气候因子数据

气候数据来源于WorldClim网站(http://www.worldclim.org/)下载的当前以及BCC-CSM1-1模式RCP8.5下的2050、2070年的气候数据,其空间分辨率为30 arc-seconds。已有的研究显示,由于横断山区域地形特殊,BCC-CSM1-1模式对中国区域气候的模拟效果较好[17]。在SRES的6组情景中A2情景的更为接近我国未来的可能情况[8],因此本研究选择与A2情景当量二氧化碳浓度更为接近的RCP8.5进行分析(RCP8.5也是RCPs中强度最大的等级[18])。

2.1.3　其他环境因子数据

地形数据包括海拔、坡度、坡向3个环境因子,来源于中国科学院数据库的DEM数据,在ArcGIS 10.1中,通过空间分析提取获得。河流、道路和居民点分布数据来源于四川省1:20万电子地图。植被图是以2009年的ETM卫片(精度为1km×1km),通过非监督分类,并以四川省第三、四次大熊猫调查的植被数据校验获得。

2.1.4　竹类扩散数据

2014—2015年,分别于荥经龙苍沟、宝兴蜂桶寨、都江堰龙池三地分别对八月竹(调查海拔1800—2200m)、冷箭竹(调查海拔2400—2800m)、短锥玉山竹(调查海拔1900—2200m)和拐棍竹(调查海拔1800—1900m)的扩散能力进行了调查和测量,在竹林内随机设置1m×1m的样方,测量当年生竹笋到距离该竹笋最近的成竹之间的距离(每个竹种测量不少于200个数据)。从测量结果看,4个竹种每年的平均扩散距离都很短,分别为八月竹(21.3±0.71)cm/a,短锥玉山竹(10.1±0.52)cm/a,冷箭竹(4.3±0.23)cm/a,拐棍竹(11.4±0.57)cm/a。预测年份竹种扩散距离=竹种扩散距离均值×(预测年份-2015)。

2.2　模型介绍

Maxent模型是基于最大熵理论开发的软件[19]。它根据物种现实分布点及分布地区的环境变量得出预测模型,再利用预测模型模拟目标物种在目标地区及目标情况下的可能分布情况[20]。现今大量运用于物种的生境评价与预测,并表现出良好的预测能力。本研究采用Maxent模型对竹类和大熊猫分布进行预测,并根据Maxent软件生成的ROC曲线,通过AUC值对预测结果的好坏进行判断。其评价标准为:AUC在0.5—0.6为

失败;0.6—0.7 为较差;0.7—0.8 为一般;0.8—0.9 为好;0.9—1 为非常好[21]。本研究中大熊猫训练集与测试集的 AUC 值分别为 0.915 和 0.894,八月竹为 0.963 和 0.944,短锥玉山竹为 0.911 和 0.899,拐棍竹为 0.950 和 0.936,冷箭竹为 0.885 和 0.873。

2.3 数据分析

大熊猫适宜生境:将大熊猫痕迹点数据和气候、植被及其他环境因子数据纳入 Maxent,随机选取 75%的大熊猫痕迹点用于建立模型,其余 25%用于模型的验证,其他参数均为模型的默认值。将模型输出结果导入 GIS,基于模型运算出的阈值对模型预测结果进行重分类,即获得大熊猫适宜生境。

竹种气候适宜区(CSAs):将该竹种分布点数据和气候、植被及其他环境因子数据纳入 Maxent,随机选取 75%的该竹种分布点用于建立模型,其余 25%用于模型的验证,其他参数均为模型的默认值。将模型输出结果导入 GIS,基于模型运算出的阈值对模型预测结果进行重分类,即获得该竹种气候适宜区。

主食竹气候适宜区:将预测的 4 个竹种气候适宜区相加得到。

当前主食竹分布区:将当前各竹种的气候适宜区与各竹种的野外实测点叠加,沿海拔将重叠部分用平滑曲线连接,形成各竹种的当前分布,将各个竹种的当前分布区相加,即为当前主食竹分布区。由于理县和小金县的主要竹种不是本研究的四种竹种,故分析主食竹分布及大熊猫当前和未来栖息地时未将两县计算在内。

未来竹种分布区:将当前各个竹种分布区以扩散距离做缓冲区后与该竹种未来气候适宜区叠加,重叠部分为各竹种未来分布区;再将未来各竹种分布相加即为未来主食竹分布。

当前大熊猫栖息地:将当前大熊猫适宜生境与当前主食竹分布区 2 个图层进行叠加,重叠的区域即为当前大熊猫栖息地范围。

未来大熊猫栖息地:为未来大熊猫适宜生境与未来主食竹分布区的重叠区域。

3 结果

3.1 大熊猫适宜生境和主食竹气候适宜区变化预测

与现状相比,邛崃山系中部及南部的高海拔地区将产生新的大熊猫适宜生境,而山系北部及低海拔地区大熊猫适宜生境面积将减少(图 2),适宜生境面积总体减少。当前大熊猫适宜生境面积为 9219 km^2,2050 年与当前面积相比减少 25.7%,2070 年较当前减少 37.2%。

未来大熊猫主食竹气候适宜区面积也持续减少,但减少幅度小于大熊猫适宜生境。当前主食竹气候适宜区面积为 12764 km^2,2050 年较当前气候适宜区面积减少 3.2%,到 2070 年主食竹气候适宜区面积与当前相比仅减少 4.7%。减少的区域主要集中在低海拔地区,而山系中部及北部的高海拔地区将产生新的气候适宜区(图 2)。总体来看大熊猫适宜生境及主食竹气候适宜区均有向高海拔扩展的趋势。

3.2 主食竹分布变化预测

当前大熊猫主食竹分布面积为 7353 km^2,未来主食竹分布略有减少,2050 年主食竹分布面积与当前相比减少 5%,到 2070 年将持续减少,较当前减少 8.3%。结合主食竹气候适宜区变化看,气候变化下主食竹分布有向高海拔扩张的趋势,但由于竹类扩散能力有限,新增分布面积很少,而低海拔地区面积减少明显(图 3),因此主食竹分布是持续减少的。而主食竹分布区域的减少可能使得大熊猫栖息地面积减少。

3.3 大熊猫栖息地变化预测

当前 11 个县中(除小金县和理县)大熊猫栖息地面积有 6648km^2, 随着气候变化,大熊猫适宜生境与主食竹分布均有向高海拔扩展的趋势,但是由于主食竹扩散能力的限制,使得大熊猫栖息地虽然总体上有向高海拔区域扩展的趋势,但新增栖息地面积远小于减少的栖息地面积,因此最终预测的栖息地面积是持续减少的。2050 年大熊猫栖息地分布面积减少 1194km^2, 占当前栖息地面积的 18%,2070 年较当前栖息地减少 27.2%。未来大熊猫栖息地的扩展区域主要位于山系南部,而山系北部及低海拔区域的大熊猫栖息地一直持续减少(图 4)。

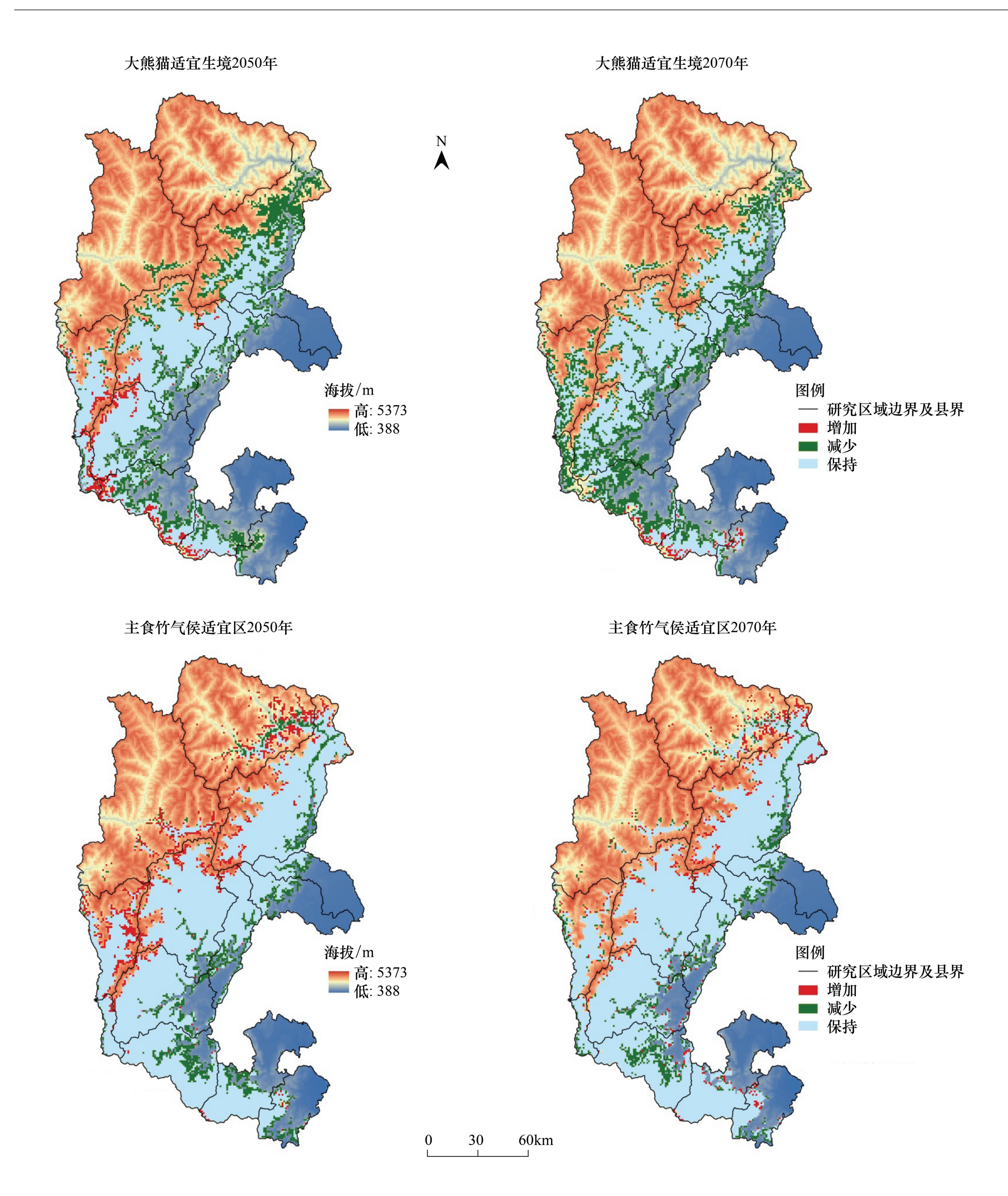


图 2 大熊猫适宜生境及主食竹气候适宜区较当前变化情况

Fig.2 Projected changes of suitable habitat for giant panda and CSAs for bamboos, comparing with current

4 讨论

从气候、地形条件以及植被等条件来看,气候变化下山系中部及南部高海拔地区将产生新的大熊猫适宜生境,而山系北部及低海拔地区适宜生境将减少。邛崃山系的大熊猫适宜生境在未来呈现出持续减少并且向高海拔扩展的变化趋势,这与已有研究的结论相似。但大熊猫适宜生境面积减少的比例却差异较大。一方面

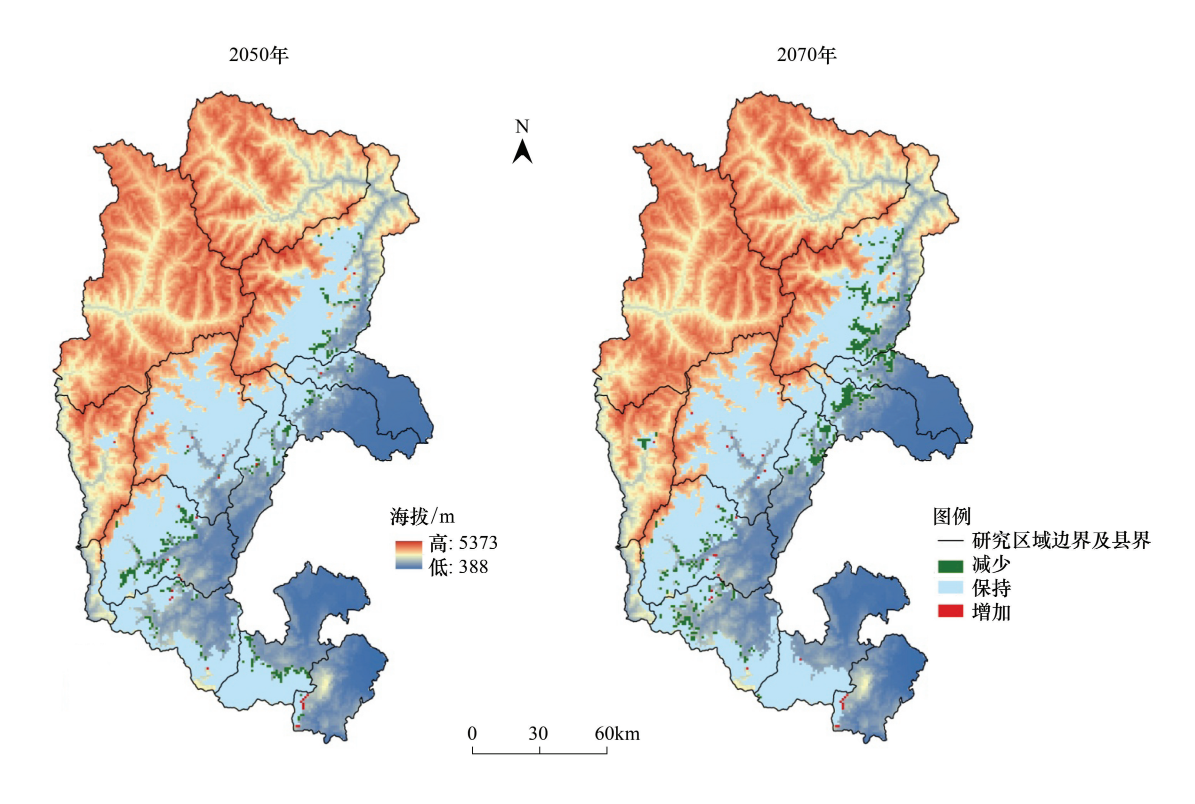


图 3　主食竹分布较当前变化情况

Fig.3　Projected changes of bamboos distribution, comparing with current distribution

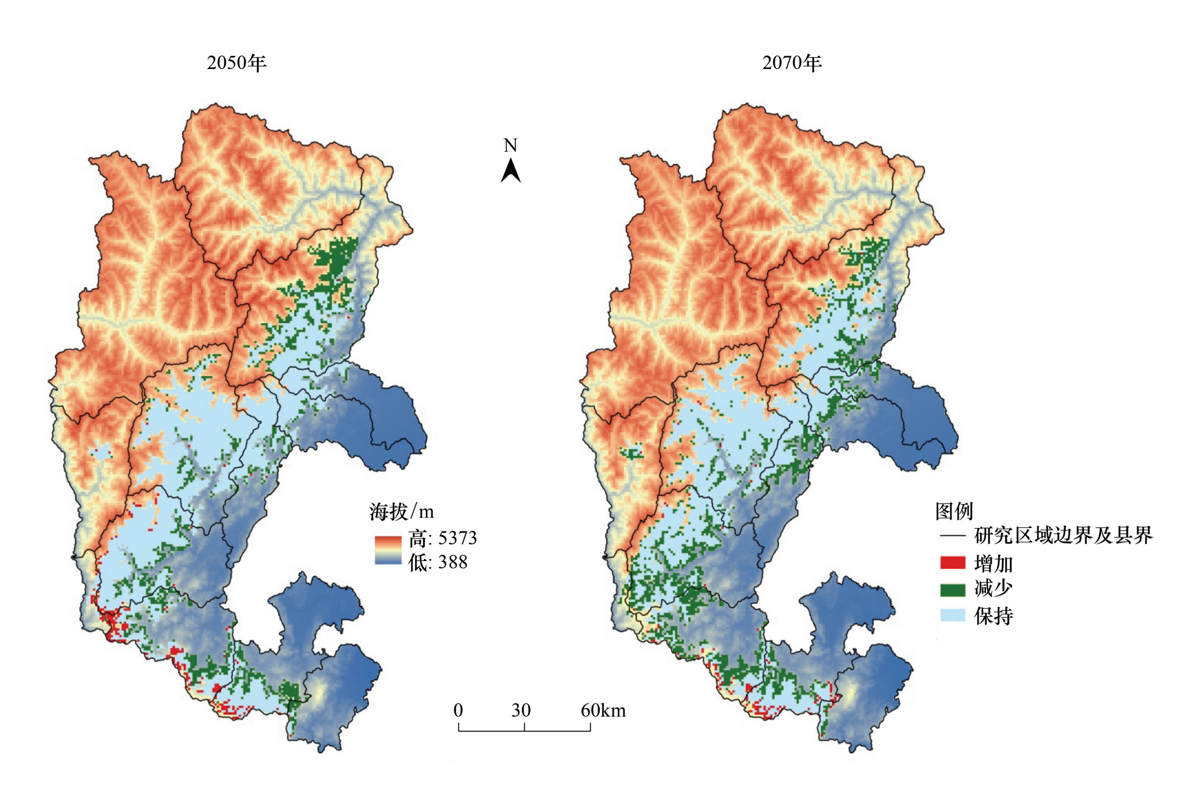


图 4　大熊猫栖息地较当前变化情况

Fig.4　Projected changes of habitat of giant panda, comparing with current giant panda habitat

是由于不同山系受气候影响程度以及不同山系大熊猫的现有分布数量差异较大,造成模型的基础参数不同,另一方面可能是由于不同作者对模型和情景模式选取的差异。吴建国等[7]利用 CART 分类和回归树模型,分

析了气候变化对全国大熊猫适宜生境的影响,认为气候变化下大熊猫当前适宜生境的东部、东北和南部将减少,新适宜生境主要向西部一些区域扩展,并且认为到 2051—2080 年目前适宜生境将减少 70%。Songer 等[8]运用 Maxent 模型对全国大熊猫适宜生境分析,认为到 2080 年大熊猫现有适宜生境可能丧失 60%,其中邛崃山山系在 CGCM3 和 HadCM3 两种模式下分别减少 40%和 67%。Fan 等[9]对秦岭地区的预测认为,到 2100 年在 A2 和 B2 情景下秦岭地区大熊猫栖息地面积将分别减少 62%和 37%。Jian 等[22]运用物种分布模型对除秦岭山系外的大熊猫适宜生境分析,认为 2002—2050 年大熊猫适宜生境有 1.5%变为不适宜,同时有 2.64%的区域由不适宜变为适宜生境,2050—2099 年 6.59%适宜生境变为不适宜,而新增 3.43%的适宜生境。本研究中,大熊猫适宜生境 2050 年与当前相比面积减少 25.7%,2070 年较当前减少 37.2%。

邛崃山系大熊猫主食竹气候适宜区在未来也是持续减少的趋势,到 2070 年主食竹气候适宜区面积与当前相比减少 4.7%。主食竹分布预测结果表明 2050 年主食竹分布面积与当前相比减少 5%,到 2070 年将持续减少,较当前减少 8.3%,其减少幅度大于主食竹气候适宜区。Tuanmu 等[12]对秦岭大熊猫栖息地的竹类研究表明,气候变化背景下未来秦岭大熊猫栖息地内的 3 个主要竹种气候适宜区将大幅度减少,减少比例高达 59%—100%,且新产生的气候适宜区都与现有的竹分布范围和大熊猫栖息地相隔甚远。从本研究结果看,邛崃山系竹类的气候适宜区有一定程度的减少,但减少幅度远小于秦岭区域。这可能与邛崃山系地理位置偏南,气候较温暖湿润有关。

综合气候、地形、植被以及食物资源来预测邛崃山系大熊猫栖息地的变化,2050 年大熊猫栖息地分布面积较当前减少 18%,2070 年较当前栖息地减少 27.2%,其减少速度介于大熊猫适宜生境和主食竹分布面积之间,减少区域主要位于山系北部和低海拔地区,而山系中部的核心区域减少较少。Shen 等[5]采用全国第三次(1999—2003 年)和第二次(1985—1988 年)大熊猫调查数据,运用 Maxent 模型预测分析岷山大熊猫栖息地变化情况,认为到 2100 年大熊猫栖息地将减少(16.3±1.2)%。Shen 等[5]的研究是将竹类分布与气候及其他环境因子并列,然而本研究认为主食竹对大熊猫栖息地分布的影响高于其他环境因子。因此如果从食物资源的角度去考虑气候变化对大熊猫的影响,将大熊猫栖息地变化与主食竹分布变化图层相叠加计算,2050 年大熊猫栖息地加非栖息地的有竹分布区的面积,比当前栖息地面积大 4.9%,到 2070 年仍较当前栖息地面积大 1.5%。也即是未来大熊猫可利用栖息地面积将大于当前大熊猫栖息地面积,表明气候变化对邛崃山系影响较小。

总的来看,虽然气候变化对邛崃山系影响较小,但未来邛崃山大熊猫栖息地面积会减少,减少的区域主要位于大相岭山系的荥经、洪雅县以及北部的汶川县,并且未来栖息地的破碎化程度会加剧。因此,需要进一步加强对这些地区的保护和监测力度,建立长期的气候监测站,并加强对大熊猫及主食竹变化的动态监测,了解大熊猫及主食竹受气候影响的趋势;同时加强对高山区域的保护力度,因为高山区域是未来大熊猫栖息地扩展的区域,特别是大相岭山系的高海拔区域。邛崃山山系中部地区是受气候变化影响较小的区域,也是现今大熊猫分布的核心区域,本区域的汶川、宝兴、芦山、大邑、崇州、天全 6 个县(市)有大熊猫数量 504 只[16],占研究区域大熊猫数量的 90%以上,需进一步加强对本区域的保护,特别需要加强对卧龙、蜂桶寨、鞍子河等保护区的建设,加强对栖息地的保护力度,确保核心种群的长期生存安全。

致谢:四川林业厅提供四川省第三、四次大熊猫调查资料,四川省第四次大熊猫调查队野外调查,Shane DuBay 博士和吴永杰老师帮助写作,张曼、魏玲、王彬在野外调查和数据分析中提供帮助,特此致谢。

参考文献(References):

[1] Rosenzweig C, Karoly D, Vicarelli M, Neofotis P, Wu QG, Casassa G, Menzel A, Root T L, Estrella N, Seguin B, Tryjanowski P, Liu CZ, Rawlins S, Imeson A. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. Nature, 2008, 453(7193): 353-357.

[2] 刘艳萍, 申国珍, 李景文. 大熊猫栖息地质量评价研究进展. 广东农业科学, 2012, 39(22): 193-198.

[3] 胡锦矗. 今昔大熊猫. 野生动物, 1981,(1): 6-7.

[4] 王锐婷, 范雄, 刘庆, 陈文秀. 气候变化对四川大熊猫栖息地的影响. 高原山地气象研究, 2010, 30(4): 57-60.
[5] Shen G Z, Stuart L, Feng C Y, Ren G F, Liu Y P, Xu W T, Li J Q, Si X F, Xie Z Q. Climate change challenges the current conservation strategy for the giant panda. Biological Conservation, 2015,190: 43-50.
[6] 刘艳萍. 气候变化对岷山大熊猫及栖息地的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
[7] 吴建国, 吕佳佳. 气候变化对大熊猫分布的潜在影响. 环境科学与技术, 2009, 32(12): 168-177.
[8] Songer M, Delion M, Biggs A, Huang Q Y. Modeling impacts of climate change on giant panda habitat. International Journal of Ecology, 2012, 2012: 108752.
[9] Fan J T, Li J S, Xia R, Hu L L, WuX P, Li G. Assessing the impact of climate change on the habitat distribution of the giant panda in the Qinling Mountains of China. Ecological Modelling, 2014, 274: 12-20.
[10] Klanderud K. Climate change effects on species interactions in an alpine plant community. Journal of Ecology, 2005, 93(1): 127-137.
[11] 张泽钧, 胡锦矗, 吴华. 邛崃山系大熊猫和小熊猫生境选择的比较. 兽类学报, 2002, 22(3): 161-168.
[12] Tuanmu M N, Vina A, Winkler J A, Li Y, Xu W H, Ouyang Z Y, Liu J G. Climate-change impacts on understorey bamboo species and giant pandas in China's Qinling Mountains. Nature Climate Change, 2013, 3(3): 249-253.
[13] 周世强, 吴志容, 严啸, 黄金燕, 李仁贵, 黄炎, 李德生, 张和民. 自然与人为干扰对大熊猫主食竹种群生态影响的研究进展. 竹子研究汇刊, 2015, 34(1): 1-9.
[14] 王学志, 徐卫华, 欧阳志云, 刘建国, 肖燚, 陈佑平, 赵联军, 黄俊忠. 生态位因子分析在大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)生境评价中的应用. 生态学报, 2008, 28(2): 821-828.
[15] 朱靖, 龙志. 大熊猫的兴衰. 动物学报, 1983, 29(1):93-104.
[16] 四川省林业厅. 四川的大熊猫: 四川省第四次大熊猫调查报告. 成都:四川科学技术出版社, 2015:1-18
[17] 冯婧. 多全球模式对中国区域气候的模拟评估和预估[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
[18] 林而达, 刘颖杰. 温室气体排放和气候变化新情景研究的最新进展. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1700-1707.
[19] 徐卫华, 罗翀. MAXENT 模型在秦岭川金丝猴生境评价中的应用. 森林工程, 2010, 26(2): 1-3,26-26.
[20] 齐增湘, 徐卫华, 熊兴耀, 欧阳志云, 郑华, 甘德欣. 基于 MAXENT 模型的秦岭山系黑熊潜在生境评价. 生物多样性, 2011, 19(3): 343-352.
[21] 刘振生, 高惠, 滕丽微, 苏云, 王晓勤, 孔芳毅. 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价. 生态学报, 2013, 33(22): 7243-7249.
[22] Jian J, Jiang H, Jiang Z S, Zhou G M, Yu S Q, Peng S L, Liu S Y, Wang J X. Predicting giant panda habitat with climate data and calculated habitat suitability index (HSI) map. Meteorological Applications, 2014, 21(2): 210-217.
[23] 冉江洪, 曾宗永, 刘世昌, 王鸿加. 四川大相岭大熊猫种群及栖息地调查. 四川大学学报自然科学版, 2006, 43(4): 889-893.
[24] 张文广, 唐中海, 齐敦武, 胡远满, 胡锦矗. 大相岭北坡大熊猫生境适宜性评价. 兽类学报, 2007, 27(2): 146-152.
[25] 张黎明. 邛崃山系大熊猫栖息地状况的初步研究. 四川林业科技, 1993, 14(2): 74-76.